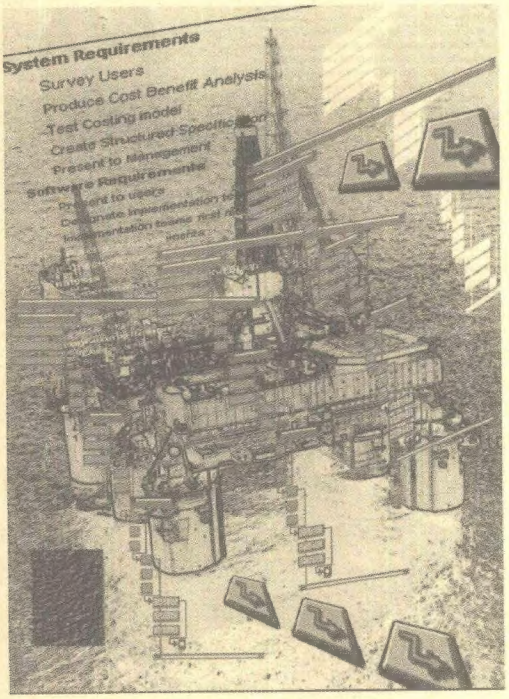
ภุชงค์ อุทโยภาศ

สร้างซูเปอร์คอมพิวเตอร์ราคาถูก ด้วยเทคโนโลยีพีซีคลัสเตอร์ ตอนที่ 2



ความเป็นมาและวิถีทางสู่การพัฒนาเทคโนโลยีการประมวลผลแบบขนาน

ในบทความตอนที่แล้วผู้เขียนได้กล่าวแนะนำถึงเทคโนโลยีการประมวลผลแบบขนานและแนะนำถึงระบบพีซีคลัสเตอร์ ในบทความตอนนี้ผู้เขียนจะเล่าให้ฟังถึงความเป็นมาและวิถีทางสู่การพัฒนาเทคโนโลยีนี้

เส้นทางสู่ระบบพีซีคลัสเตอร์

แนวความคิดเรื่องการนำคอมพิวเตอร์จำนวนมากมาต่อเชื่อมกันเพื่อเพิ่มขีดความสามารถและใช้งานทดแทนระบบซูเปอร์คอมพิวเตอร์นั้นมีมานานแล้ว โดยในราวปี 1988 เริ่มมีการวิจัยขึ้นหลายแห่งในโลก โดยเฉพาะมหาวิทยาลัยในอเมริกาที่พยายามนำเวลาว่างที่คอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะระบบเวิร์กสเตชันมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ผู้เขียนต้องขอให้ผู้อ่านหลับตาจินตนาการตามว่า ในอเมริกานั้นตามมหาวิทยาลัยดัง ๆ จะรวยมาก ๆ ตามศูนย์คอมพิวเตอร์และห้องปฏิบัติการวิจัยจะไม่ค่อยจะมีเครื่องพีซี แต่จะใช้เครื่องกราฟิกเวิร์กสเตชัน เช่น ของ SUN, Hewlett-Packard, Digital Equipment, Silicon Graphics นับร้อยเครื่องมาต่อกันเป็นเน็ตเวิร์กเพื่อให้บริการเครื่องพีซีในขณะนั้นยังมีความสามารถที่ต่ำมากจนนักวิจัยคอมพิวเตอร์ทั้งหลายเห็นเป็นของเล่นเท่านั้น เครื่องเหล่านี้จะถูกเปิดทิ้งไว้ทั้งวันทั้งคืน นอกจากนั้นแล้วถึงจะเป็นเวลากลางวันเครื่องทุกเครื่องก็ไม่ได้ถูกใช้งานเต็ม ดังนั้นจึงมีความพยายามจากหลายกลุ่ม เช่น โครงการ CONDOR ของ University of Wisconsin at Madison ที่สร้างซอฟต์แวร์มาคอยตรวจสอบดูว่าเครื่องเวิร์กสเตชันเครื่องใดว่างก็จะโขมยเวลาทันทีโดยการส่งงานที่เตรียมไว้ไปรัน เมื่อผู้ใช้กลับมาระบบก็จะพับงานเก็บแล้วหลบไปอยู่ที่อื่นชั่วคราว ผู้เขียนเพิ่งมีโอกาสคุยกับนักวิจัยท่านหนึ่งที่มาจาก U of Wisconsin at Madison หรือ UWM นี้ก็พบว่าเขายังพัฒนาโปรแกรมนี้อยู่เลย ทั้งที่ผ่านมาเกือบ 10 ปีแล้ว ข้อดีของระบบแบบนี้คือ สามารถนำเวลาที่เครื่องในระบบเครือข่ายว่างที่รวมกันแล้วมีมหาศาลมาใช้งานได้มากขึ้นทำให้รันโปรแกรมที่ต้องการเวลานานมาก ๆ ได้

อย่างไรก็ตาม ปัญหาของการใช้ระบบเครือข่ายของเวิร์กสเตชันนี้คือโปรแกรมต้องเกิดตายตลอดเวลา ยกเว้นตอนกลางคืน และเครือข่ายที่เชื่อมโยงระหว่างเครื่องมีความเร็วต่ำมาก (ส่วนใหญ่ใช้ 10 เมกะบิตอีเธอร์เน็ต) ทำให้ไม่สามารถคำนวนแบบขนานได้อย่างแท้จริง เนื่องจากการคำนวนแบบขนานจะมีการสื่อสารระหว่างเครื่องค่อนข้างสูง เมื่อตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวจึงได้มีกลุ่มวิจัยหลายหันมาใช้ระบบคลัสเตอร์ของเวิร์กสเตชันแบบเฉพาะ (Dedicated Workstation Cluster) ในการประมวลผล กลุ่มที่มีการวิจัยด้านนี้ค่อนข้างเด่น

รูปที่ 1 โทมัส เสตอร์ลิ่งกับระบบคลัสเตอร์

รูปที่ 2 ระบบแบวูลฟ์คลัสเตอร์ Avalon

ได้แก่ โครงการ NOW (Network of Workstations) ที่มหาวิทยาลัยแห่งแคลิฟอร์เนียที่เบิร์คลี่ (University of California at Berkeley) โดยมีการนำเครื่องเวิร์กสเตชัน SUN จำนวนมากมาต่อผ่านเครือข่ายความเร็วสูงที่เรียกว่า Myrinet (มีความเร็วกว่า 1.2 จิกะบิตต่อวินาที) เพื่อใช้กับการคำนวนขนาดใหญ่ ถึงแม้ว่าระบบในลักษณะนี้จะมีประสิทธิภาพสูงมากกว่าเดิมมาก การประยุกต์ในลักษณะนี้ยังมีปัญหาเรื่องราคาที่แพงมาก เนื่องจากเครื่องเวิร์กสเตชันและเครือข่ายความเร็วสูงเป็นของที่ผลิตจำนวนไม่มากนักทำให้ราคาต่อหน่วยยังสูงอยู่

โครงการแบวูลฟ์ของนาซ่า (NASA Beowulf Project)

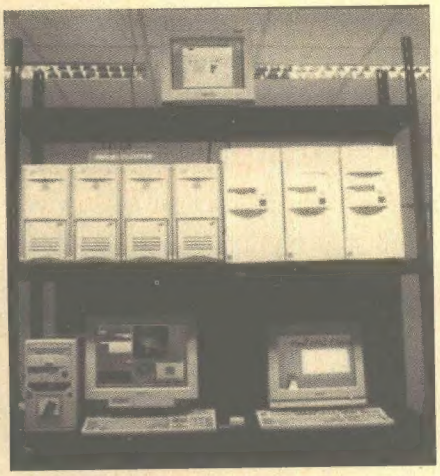
โครงการแบวูลฟ์ของนาซ่าเป็นโครงการที่เกิดขึ้นมาในปี 1994 โดยนักวิจัย 2 คน คือ ดร.โทมัส เสตอร์ลิ่ง (Thomas Sterling) และ โดนัล หรือดอน เบคเกอร์ (Don Becker) ซึ่งในขณะนั้นทำงานอยู่ที่ CESDIS (Center of Excellence in Space Data and Information Science) ซึ่งเป็นศูนย์วิจัยอยู่ที่ Goddard Space Flight Center ในรัฐแมรี่แลนด์ ประเทศสหรัฐอเมริกา โครงการนี้ได้รับสนับสนุนจากโครงการ ESS (Earth and Space Science Project) โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาเทคนิคในการนำคอมพิวเตอร์แบบขนานขนาดใหญ่ มาใช้แก้ปัญหาหรือจัดการกับข้อมูลมหาศาลที่ได้รับมาจากการสำรวจอวกาศ แบวูลฟ์คลัสเตอร์เครื่องแรกนั้นสร้างขึ้นมาจากเครื่อง PC 486DX100 16 เครื่อง ที่เชื่อมต่อกันผ่านอีเธอร์เน็ต

โครงการนี้เริ่มเป็นที่รู้จักมากขึ้นเมื่อมีการสาธิตในงาน Supercomputing 97 ด้วยการนำเครื่อง PC PentiumPro 200 จำนวน 16 เครื่องมาต่อเข้าด้วยกัน และพิสูจน์พลังให้เห็นโดยการคำนวณได้กว่า 1 พันล้านครั้งต่อวินาที ซึ่งเป็นสมรรถนะระดับซูเปอร์คอมพิวเตอร์อย่างแท้จริง ในขณะนี้เครื่องนาซ่าได้สร้างระบบคลัสเตอร์ขนาดใหญ่ไว้ใช้งานหลายระบบ เช่น Naegling และ The Hive ซึ่งมีพีซี 128 เครื่องมาต่อกัน แต่ระบบที่มีประสิทธิภาพสูงสุดได้แก่ Avalon ซึ่งเกิดจากการนำเครื่อง Digital Aplha มาลงลีนุกซ์แล้วต่อกันทั้งหมด 140 เครื่อง ทำให้คำนวณได้กว่า 10 จิกะฟลอบ หรือกว่าหมื่นล้านคำสั่งต่อวินาที และติดอันดับที่ 88 ของคอมพิวเตอร์ที่เร็วที่สุดในโลก

ถึงตอนนี้ผู้เขียนขอคุยหน่อยว่า เมื่อปีที่แล้ว ผู้เขียนและ NECTEC ได้เชิญ ดร.สเตอร์ลิ่งมาเมืองไทยได้สำเร็จ โดยได้มาบรรยายที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ Nectec (และยังไปปีนเจดีย์กันกับผู้เขียนที่อยุธยาเลย) แต่การมาไม่ได้ผลมากนัก เนื่องจากความสนใจยังน้อยในเมืองไทย และเป็นสิ่งค่อนข้างใหม่ ทั้งที่การนำเสนอนั้นน่าสนใจเป็นที่สุด ผู้เขียนยังเสียดายมากที่เราได้ถ่ายทอดความรู้น้อยไปนิด ถ้าใครมีสตางค์เหลือ ๆ สงเคราะห์ให้ผู้เขียนเชิญคนเหล่านี้มาอีกก็จะดีไม่น้อย

ในประเทศไทยเองทางมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้เข้าไปร่วมมือกับโครงการนี้มากว่าหนึ่งปีครึ่งแล้ว โดยทางห้องปฏิบัติการวิจัยระบบคอมพิวเตอร์และเครือข่ายสื่อสารได้ทำการวิจัยในโครงการชื่อ SMILE (Scalable Multicomputer Implementation using Low-cost Equipment) ซึ่งมุ่งพัฒนาเทคโนโลยีขั้นสูงในประเทศทางด้านระบบคอมพิวเตอร์และการประมวลผลแบบขนาน โดยได้สร้างระบบแบวูฟล์คลัสเตอร์ขึ้นเอง เรียกว่า SMILE Beowulf Cluster โดยขณะนี้มีอยู่ 16 เครื่อง หรือที่เรียกว่าโหนดด้วยกัน คาดว่าจะสามารถทำให้ระบบคำนวณได้เร็วกว่า 1 จิกะฟลอบในปีนี้ นอกจากศึกษาเทคโนโลยีที่จำเป็นในการบำรุงรักษาระบบแล้ว ทางห้องปฏิบัติการวิจัยยังได้พัฒนาโปรแกรมที่ใช้บริหารระบบคลัสเตอร์เรียกว่า SCMS (SMILE Cluster Management System) ขึ้น เพื่อลดความซับซ้อน

สร้างซูเปอร์คอมพิวเตอร์ราคาถูก
ด้วยเทคโนโลยีพีซีคลัสเตอร์ ตอนที่ 2



รูปที่ 3 SMILE Beowulf Cluster ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการบริหารและดูแลระบบ ซึ่งในขณะนี้ซอฟต์แวร์ SCMS ได้ถูกนำไปใช้โดยหน่วยงานหลายแห่งทั่วโลก ทางโครงการแบวูลฟ์ของนาซ่าเองก็ได้ช่วยแจกซอฟต์แวร์ของเราโดยการอ้างถึงบนเว็บเพจของโครงการ นอกจากนั้นซอฟต์แวร์นี้ยังได้รับการอ้างถึงในระดับนานาชาติ เช่น ใน Internet Parallel Computing Archive (http://www.hensa.ac.uk/parallel/tools/tools) และ Scientific Application for Linux site (SAL) (ทำให้ผู้เขียนและเด็ก ๆ ทุกคนที่ร่วมกันพัฒนาซอฟต์แวร์นี้ดีใจพิลึก)

นอกจากทางมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ผู้เขียนทำอยู่แล้ว ทางศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิคส์แห่งชาติ โดยห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง (HPCC หรือ High Performance Computing Center) ก็เป็นกลุ่มวิจัยอีกกลุ่มหนึ่งที่เห็นความสำคัญของการใช้งานระบบคลัสเตอร์แทนซูเปอร์คอมพิวเตอร์ โดยได้ทำการจัดตั้งระบบคลัสเตอร์ขนาดเล็กขึ้นทดสอบเป็นเวลานานแล้ว ทางศูนย์และมหาวิทยาลัยเกษตรได้มีความร่วมมือและแลกเปลี่ยนเทคโนโลยีทางด้านนี้กันตลอดเวลา นอกจากกลุ่มดังกล่าวแล้ว ถ้ามีผู้ใดทำงานทางด้านนี้อยู่แต่มิได้รับการอ้างถึงก็ขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย และขอให้ติดต่อผู้เขียนเพื่อจะได้คุยกันบ้าง เนื่องจากเราก็เหงา ๆ อยู่เหมือนกัน

หลังจากชักแม่น้ำทั้งห้าเรื่องประวัติอยู่นานแล้ว ผู้เขียนก็ขอเข้าเรื่องเทคนิคสักทีโดยการพาไปจ่ายตลาดซื้อเครื่องกันก่อน

จ่ายตลาดเลือกเครื่องมือมาทำคลัสเตอร์

ตอนนี้เราจะเริ่มทำคลัสเตอร์กัน ถ้ามองแบบตำรากับข้าวก็ต้องเดินไปซื้อหมูเห็ดเป็ดไก่และผัก กับเตรียมเครื่องแกง หม้อ กะทะไว้ การปรุงคลัสเตอร์ให้ได้ที่นั้นต้องการเครื่องปรุงดังนี้

1. คอมพิวเตอร์พีซีแบบแรง ๆ สักจำนวนหนึ่ง น้อยที่สุดคือ 2 เครื่อง มากที่สุดคือหลายร้อยเครื่อง ใจผู้เขียนคิดว่าน่าจะสัก 4 เครื่องจึงจะเห็นผล เร็ว ๆ นี้เด็กนักเรียนของผู้เขียนได้ซื้อเครื่องเพนเทียม 400 มีหน่วยความจำ 64 เมกะไบต์ในราคาสี่หมื่นกว่านิด ๆ นับว่าถูกมาก (ผู้เขียนยังใช้เครื่อง Pentium 120 อยู่เลย เพราะจนกว่าเด็ก ๆ)

2. เน็ตเวิร์กที่เชื่อมเครื่องเหล่านี้เข้าด้วยกันน่าจะเป็น Fast Ethernet และสวิตช์ ถ้าไม่มีเงินก็ใช้ Hub100 ก็ได้ แต่ประสิทธิภาพจะต่างกันมาก ๆ

3. ซอฟต์แวร์ที่ต้องไปดาวน์โหลดจาก Internet ได้แก่ Linux Operating Systems ระบบโปรแกรมแบบขนาน เช่น PVM, MPICH, LAM ซึ่งต่อไปผู้เขียนก็จะได้กล่าวถึงแบบละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ทางนาซ่าและ RedHat ซอฟต์แวร์ซึ่งเป็นบริษัทที่จำหน่าย Linux เจ้าใหญ่เจ้าหนึ่งได้ร่วมมือกันนำซอฟต์แวร์ทุกอย่างที่ต้องการใส่แผ่นไว้สำเร็จเลย เรียกว่า Extreme Linux สามารถหาดาวน์โหลดได้จากโครงการแบวูลฟ์ (http://www.beowulf.org) หรือมีอีกวิธีหนึ่งที่ง่ายกว่านั้น คือผู้เขียนเคยเดินไปซื้อมาได้แผ่นหนึ่ง จากร้านหนังสือบุ๊คเซสค์ที่สยามสแควร์ ในราคา 200 - 300 บาท เท่านั้น

การเลือกฮาร์ดแวร์

ผู้เขียนเริ่มติดนิสัยครูที่ต้องบอกอะไรเป็นข้อ ๆ ดังนั้นขอพูดไปเรื่อย ๆ ตามแต่ที่จะคิดได้ก็แล้วกัน

1. การเลือกเมนบอร์ดนั้นต้องให้มั่นใจว่าใช้กับลีนุกซ์ได้ ส่วนใหญ่บอร์ดที่มีลูกเล่นมาก ๆ หรือเพิ่งออกใหม่ ๆ ลีนุกซ์อาจจะไม่สนับสนุน ขอให้ตรวจสอบกับ Hardware Howto ของลีนุกซ์ อย่างไรก็ตาม บอร์ดควรมีสิ่งเหล่านี้

- มีหน่วยความจำแคชมาก ๆ อย่างน้อยต้อง 512 กิโลไบต์ เพราะจะช่วยให้โปรแกรมทำงานเร็ว นอกจากนั้นต้องขยายหน่วยความจำได้มาก ๆ
- ใช้ความเร็วเมนบอร์ด 100 MHz ขึ้นไป และมีหน่วยความจำที่มีความเร็วในระดับเดียวกันด้วย เช่น SDRAM 100MHz
- ถ้าเป็นไปได้ควรจะมีวงจรตรวจสภาวะเมนบอร์ด เช่น แบบที่ใช้ชิป LM78 ในลีนุกซ์จะมีไดรเวอร์ที่ช่วยให้เราอ่านค่าแปลก ๆ เช่น อุณหภูมิของเมนบอร์ดได้ทราบปัญหาที่กำลังจะเกิด เช่น พัดลมซีพียูดับได้อย่างรวดเร็ว
- ถ้ามีฮาร์ดแวร์บางตัว เช่น SCSI Controller, Sound Card หรือ Display Card อยู่เลยก็จะช่วยประหยัดเงินได้ส่วนหนึ่ง แต่ก็ไม่จำเป็นนัก เนื่องจากบางคนอาจมองว่าไม่ยืดหยุ่นพอ ซึ่งก็เป็นความจริงอยู่เหมือนกัน
- ถ้าเป็นไปได้ให้ใช้ CPU ตระกูล Pentium II ไม่ใช่ Celeron เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการคำนวณดีกว่ามาก โปรเซสเซอร์อื่น ๆ เช่น Cyrix หรือ AMD ก็น่าจะใช้ได้ แต่ผู้เขียนไม่เคยลอง เพราะเกรงว่าจะมีปัญหาด้านซอฟต์แวร์เวลาพัฒนาในระดับลึก

2. ฮาร์ดดิสก์มีทั้งแบบ IDE และแบบ SCSI แบบ IDE มีข้อดีคือ ราคาถูกและในแง่ความเร็วก็ทัดเทียม SCSI เมื่อใช้อินเทอร์รัพต์โหมด 4 แต่ SCSI มีข้อเหนือกว่าอย่างน้อย 2 ประการ คือ สามารถขยายได้มากกว่า 4 ตัว

เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นบัสและยังมีความคงทนกว่าเมื่อถูกใช้งานหนัก อันนี้มาจากประสบการณ์ที่ผ่านมาของเราเอง ดังนั้นในขณะนี้เราใช้วิธีผสมผสานโดยระบบไฟล์หลักที่สำคัญจะเก็บบน SCSI ในขณะที่ใช้ IDE ในการประมวลผล

3. CD-ROM ใช้แบบ IDE ธรรมดา โดยลีนุกซ์จะสนับสนุนการใช้ซีดีรอมแบบนี้เกือบทุกยี่ห้อ การมีซีดีรอมจะช่วยให้การลงซอฟต์แวร์ง่ายขึ้นมาก แต่ไม่จำเป็นต้องติดทุกโหนด เพราะสามารถใช้งานร่วมกันผ่านระบบเน็ตเวิร์กได้ (มีซีดีรอมยังช่วยให้ฟังเพลงได้ด้วย)

4. ฟลอปปีดิสก์ไดรฟ์ควรมีทุกโหนด เนื่องจากเวลามีความผิดปกติหรือระบบไฟล์พัง เราสามารถบูทจากแผ่นเพื่อเข้าไปซ่อมระบบได้ง่าย

5. ระบบเทปแบคอัพนั้นต้องมี เนื่องจากระบบเราเป็นระบบใหญ่ที่ต้องมีการแบคอัพเป็นระยะเพื่อกันการสูญหายของข้อมูล ในระบบ SMILE นั้นใช้ Jazz Drive SCSI อยู่ เนื่องจากมีราคาถูกและมีความเร็วสูง นอกจากนั้นระบบยังมี SCSI ไดรฟ์อยู่แล้ว

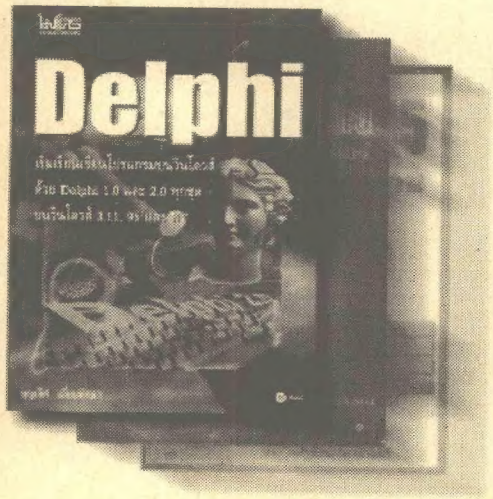
6. มอนิเตอร์ ถ้าเป็นไปได้ควรมีมอนิเตอร์ขนาดใหญ่ 17 นิ้ว ไว้เพื่อแสดงผลงานและพัฒนาโปรแกรม ส่วนคีย์บอร์ดนั้นควรมีอุปกรณ์สลับสายคีย์บอร์ดมาช่วยเพื่อให้เข้าถึงทุกเครื่องได้โดยใช้คีย์บอร์ดอันเดียวเท่านั้น

7. เน็ตเวิร์กที่ใช้มีได้หลายแบบ เช่น ATM, Myrinet แต่ที่เหมาะกับบ้านเราที่สุดเห็นจะเป็น Fast Ethernet ซึ่งในขณะนี้มีราคาถูกลงมามาก ถ้ามีเงินพอน่าจะใช้ Fast Ethernet switch แบบแพง ๆ อาจจะเป็นแสน ๆ บาท แต่แบบที่ถูก ๆ สี่ห้าหมื่นบาทก็มี สิ่งที่ควรมองคือ

- แบนวิดธ์ของ Backplane ต้องมากกว่าจำนวนพอร์ตคูณด้วยความเร็ว เช่น สวิตช์แบบ 8 พอร์ต ต้องมีแบนด์วิดธ์มากกว่า 800 Mbps เป็นต้น
- แต่ละพอร์ตต้องทำงานแบบ Full Duplex และเป็น Autonegotiable ซึ่งต่อได้ทั้งแบบ 10 และ 100 เมกะบิต
- การ route ethernet packet ควรเป็นแบบ cut-through ซึ่งมีเวลาหน่วง (delay หรือ latency) ต่ำกว่าแบบ store-and-forward มาก
- ระวังว่าสายทุกเส้นเป็นแบบ CAT-5 ซึ่งวิ่งได้ 100 เมกะบิต ไม่อย่างนั้นจะโดนหลอกเวลาระบบไม่ทำงานขึ้นมา
- การ์ดอินเทอร์เฟสควรจะเป็นแบบ Ethernet 10/100 ที่สนับสนุนโดยระบบลีนุกซ์
- ในระบบของเราตอนนี้ใช้การ์ดของ 3COM 3C905TXA และ 3C905TXB และใช้ Fast Ethernet Switch ของ SMC อยู่

ในบทความครั้งต่อไป ผู้เขียนจะเล่าถึงการวางแผนระบบและการติดตั้งซอฟต์แวร์

แ ล ก ฟ รี !



หนังสือคู่มือการใช้งานโปรแกรม **1. Delphi 2. Microsoft Windows 95 อย่างง่าย และ 3. เทคนิคการเดินสายสัญญาณเครือข่ายคอมพิวเตอร์** กำลังรอให้คุณเป็นเจ้าของ

ง่าย ๆ เพียงแต่คุณเขียนเทคนิคเกี่ยวกับการใช้คอมพิวเตอร์ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในปัจจุบัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้กับฮาร์ดแวร์ อุปกรณ์ต่อพ่วง ซอฟต์แวร์ อินเทอร์เน็ต หรืออาจจะเป็นเทคนิคหรือเรื่องราวที่น่าสนใจอะไรก็ได้ที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ โดยแต่ละเรื่องนั้น เมื่อพิมพ์ด้วยฟอนต์ขนาดปกติแล้วจะต้องมีความยาวไม่ต่ำกว่า 2/3 หน้ากระดาษ A4

เมื่อนึกออกแล้วก็ให้รีบเขียนส่งมายังที่อยู่ด้านล่าง หรือจะแนบไฟล์มากับอีเมล์ ส่งมาที่ june@se-ed.com (ในช่อง Subject ให้ระบุชื่อหนังสือที่ต้องการว่า 1. Delphi 2. MS Windows 95 หรือ 3. Wire) **เรื่องที่ผ่านการพิจารณาจะจัดลงตีพิมพ์ในนิตยสารไมโครคอมพิวเตอร์ คุณจะได้รับหนังสือคู่มือการใช้งานโปรแกรม Delphi, Microsoft Windows 95 อย่างง่าย หรือ เทคนิคการเดินสายสัญญาณเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (1 เรื่องต่อ 1 เล่ม หากต้องการเล่มใดโปรดระบุ)**

กองบรรณาธิการนิตยสารไมโครคอมพิวเตอร์ **บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)** 800/43-45 ซอยตระกูลสุข ถนนอโศก-ดินแดง ดินแดง กรุงเทพฯ 10400 *(วงเล็บมุมซองว่า เทคนิคการใช้งาน)*

122